

Piezoaktor

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist beispielsweise aus der DE 199 28 189 A1 bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement zur Steuerung des Nadelhubes eines Ventils oder dergleichen aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt.

Aufgrund des extrem schnellen und genau regelbaren Hubeffektes können solche Piezoaktoren zum Bau von Stellern, beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Hierbei wird die spannungs- oder ladungsgesteuer-

te Auslenkung des Piezoaktors zur Positionierung eines Steuerventils genutzt, das wiederum den Hub einer Düsen-nadel regelt.

Da die erforderlichen elektrischen Feldstärken zur Betätigung des Piezoaktors im Bereich von mehreren kV/mm liegen und in der Regel moderate elektrische Spannungen zur Ansteuerung gewünscht sind, erfolgt der Aufbau dieses Piezoaktors hier in mehreren Schichten von übereinandergestapelten metallisierten Piezokeramiken zu einem sog. Multilayer-Aktor. Hierzu sind jeweils zwischen den Schichten Innenelektroden vorhanden, die z.B. mit einem Druckverfahren aufgebracht werden, und es sind Außenelektroden vorhanden, über die die elektrische Spannung angelegt wird. Ein typisches Verfahren zum Herstellen solcher Schichten besteht in der Foliengießtechnik. Die einzelnen Schichten werden dabei zur Herstellung der Innenelektroden metallisiert und übereinandergestapelt, wobei dann zwischen zwei Schichten mit Innenelektroden unterschiedlicher Polarität sich der Piezoeffekt auswirkt.

Am Kopf- und Fußbereich fehlen jedoch in der Regel die Innenelektroden, da zum einen zu den Stirnflächen hin eine gewisse Isolationstrecke nötig ist um Kurzschlüsse nach außen hin zu vermeiden und zum anderen werden passive Zonen zum elektrischen Anschluss der Außenelektroden genutzt. Auch können passive Bereiche inmitten des Piezoaktors vorhanden sein. Es besteht hier jedoch das Problem, dass diese passive Schichten als Deckpakete parasitäre oder Störkapazitäten gegenüber der elektrischen Masse darstellen, die im Kraftfahrzeug oder sonstigen Anwendungen zu elektromagnetischer Abstrahlung führen können.

Für sich gesehen ist aus der DE 100 25 998 A1 bekannt, dass an beiden Enden des Lagen- oder Schichtaufbaus pas-

sive, in der Länge veränderbare passive Bereiche angeordnet sind. Bei diesem bekannten Piezoaktor bestehen zum einen die passiven Schichten aus dem gleichen Keramikmaterial wie der aktive Bereich, allerdings mit elektrisch einseitig oder gar nicht kontaktierten Außenelektroden, so dass auch die inaktiven Bereiche mit den Innenelektroden-Metallschichten durchsetzt sind. Andererseits kann der jeweilige inaktive Bereich auch ein vollständiger elektrisch isolierter Metall- oder Keramikblock sein, der beispielsweise auf den piezoelektrisch aktiven Bereich einfach aufgeklebt werden kann.

Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor ist, wie erwähnt, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich mit zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden aufgebaut und ist mit einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden, zur Beaufschlagung mit einer elektrischen Spannung, versehen. Es ist weiterhin mindestens ein inaktiver Bereich, z.B. ein Fuß- und/oder Kopfteil als Deckpakete, an einem Ende oder auch innerhalb des aktiven Bereichs im Bereich der Gesamteinbaulänge im Lagenaufbau des Piezoaktors vorhanden.

In vorteilhafter Weise ist beim erfindungsgemäßen Piezoaktor die Dielektrizitätskonstante mindestens des Kopf- oder des Fußteils als inaktive Bereiche geringer als die Dielektrizitätskonstante des aktiven Bereichs. Vorzugsweise sind die inaktiven Bereiche und der aktive Bereich aus einer gleichen keramischen Grundsubstanz hergestellt, wobei in den inaktiven Bereichen zusätzliche Dotierstoffe

derart eingefügt sind, dass sich hier eine minimale Dielektrizitätskonstante ergibt. Die Grundsubstanz ist beispielsweise Bleizirkonattitanat (PZT) und der Dotierstoff ist Silber.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Schichtdicken der inaktiven Bereiche am Kopf- und/oder Fußteil gleich. Nach einer anderen Ausführungsform werden die inaktiven Bereiche aus einer elektrisch gepolten Keramik mit einem derart angelegten elektrischen Feld gebildet, dass sich eine minimale Dielektrizitätskonstante ergibt.

Der Vorteil der Erfindung liegt insbesondere darin, dass zunächst der aktive Bereich des Piezoaktors mit einer vorgegebenen Piezokeramik unangetastet bleibt, das heißt, dass Kenngrößen wie Leerlaufhub, Blockierkraft etc. des aktiven Stellelements unverändert bleiben. Durch die erfindungsgemäße Materialauswahl, die Geometrie oder den Polungszustand der Deckpakete am Kopf- und/oder Fußteil lässt sich dann die parasitäre Kapazität C_{para} am Kopf- und/oder Fußteil minimieren.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Piezoaktors wird anhand der Figuren der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Schnitt durch einen Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und aktiven und inaktiven Bereichen,

Figur 2 ein elektrisches Ersatzschaltbild der am Piezoaktor auftretenden Kapazitäten bei einer Anbin-

dung der inaktiven Bereiche an Innelektroden des aktiven Bereichs mit gleicher Polarität,

Figur 2 ein elektrisches Ersatzschaltbild der am Piezoaktor auftretenden Kapazitäten bei einer Anbindung der inaktiven Bereiche an Innelektroden des aktiven Bereichs mit ungleicher Polarität und

Figur 3 einen Verlauf der parasitären Kapazitäten bei bestimmten Verhältnissen der Schichtdicken der inaktiven Bereiche.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen 2 eines Keramikmaterials, z.B. sogenannte Grünfolien, mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Gleichspannung an Innenelektroden 3 und 4 über außen kontaktierte Elektroden 5 und 6 eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

Der Piezoaktor 1 ist in einen piezoelektrisch aktiven Bereich A und zwei am Kopf- und am Fußende angebrachte inaktive bzw. passive Bereiche B und C als Deckpakete aufgeteilt. Aktiv wird in diesem Zusammenhang ein Bereich bezeichnet, der von den Innelektroden 3 und 4 wechselnder Polarität durchsetzt ist und letztendlich also zu der für den Betrieb gewollten Längsgesamtdehnung des Piezoaktors 1 beiträgt.

Bei dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel wird der Multilayer-Piezoaktor 1 in der Art aufgebaut, dass die

Materialzusammensetzungen der Keramiksichten im aktiven Bereich A und in den passiven Bereichen B und C sich unterscheiden. Es sind somit an sich für die Grünfolienherstellungen zwei Keramiksarten notwendig. Dies können zum Beispiel verschieden aufbereitete Keramiksarten sein, z.B. auf einer Basis von Bleizirkonattitanat (PZT). Diese oder andere Keramiken auf einer gemeinsam basierenden Grundsubstanz können durch Hinzufügen geeigneter Dotierstoffe, z.B. Silber, entsprechend verändert und angepasst werden.

Die Keramik im aktiven Bereich A besitzt eine Dielektrizitätskonstante von ϵ_{33} . Die Dielektrizitätskonstante ϵ'_{33} des Bereichs B oder C ist dabei so gewählt, dass die Beziehung $\epsilon'_{33} \ll \epsilon_{33}$ gilt. Die Keramik der Bereiche B und C nach der Figur 1 wird dann derart ausgewählt oder modifiziert, dass auf jeden Fall die Dielektrizitätskonstante ϵ'_{33} minimiert ist.

Die parasitären Kapazitäten C_B und C_C der Bereiche B oder C bestimmen sich demnach in Abhängigkeit von den Schichtdicken d_B und d_C zu

$$C_{B,C} = \epsilon_0 * \epsilon'_{33} * A/d_{B,C} \quad \text{mit} \quad \epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} * \text{AS/Vm} \quad (1),$$

wobei A dabei die aktive Fläche darstellt.

Das erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel schließt dabei die Möglichkeiten ein, dass die letzte angebundene Innenelektrodenschicht 3 oder 4 zum Kopfteil B und zum Fußteil C Fußseite hin in gleicher oder unterschiedlicher Polarität gewählt werden kann.

Im ersten Fall ergibt sich das Ersatzschaltbild nach Figur 2, im zweiten Fall ergibt sich das Ersatzschaltbild

nach Figur 3, wobei je nach elektrischer Abstimmung des Aufbaus des Piezoaktors 1 eine der beiden Varianten vorteilhafter sein kann.

Im Falle der Anbindung der Innenelektroden 3 oder 4 nach der Figur 2 gibt es noch eine weitere Optimierungsmöglichkeit um die parasitäre Kapazitäten C_B und C_C zu minimieren. Da in der Regel die Piezoaktoren 1 eine festgelegte Gesamtlänge aufweisen, steht für den jeweiligen passiven Bereich B oder C eine gewisse Länge $d_B + d_C = d_{ges}$ zur Verfügung. Es ergibt sich somit der in Figur 4 dargestellte Verlauf 10 der parasitären Kapazitäten C_B und C_C als C_{para} . Wählt man insbesondere $d_B = d_C = d_{ges} / 2$ erhält man für $C_{para} = C_B + C_C$ ein Minimum.

Die hier vorgestellte Erfindung schließt somit ausdrücklich einen Piezoaktor 1 mit symmetrischen Deckpaketen B und C am Kopf- und Fußteil mit ein. Die Minimierung durch diesen geometrischen Effekt funktioniert insbesondere auch dann, wenn die Deckpakete B und C aus dem gleichem Keramikmaterial sind, wie der aktive Bereich A.

Eine weiterer hier nicht in den Figuren dargestellter Aspekt betrifft die Anpassung der parasitären Kapazität C_{para} durch ein zumindest teilweise Polung der Deckpakete B und C. Will man für eine besondere elektrische Abstimmung einen gewissen Kapazitätswert C_{para} an den Deckpaketen B und C einstellen, so kann dies über eine Anpassung der Dielektrizitätskonstante ϵ'_{33} und insbesondere über den Polungszustand der Deckpakete B und C erfolgen. Da unpolarierte Keramik eine etwa nur halb so große Dielektrizitätskonstante besitzt wie eine gepolte Keramik, kann durch eine Anlage eines passenden elektrischen Feldes die parasitäre Kapazität C_{para} quasi getunt werden.

Patentansprüche

1) Piezoaktor, mit

- einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3,4), die mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind und mit
- inaktiven Bereichen (B,C) ohne Innenelektroden am Kopf- und Fußteil des Piezoaktors (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Dielektrizitätskonstante (ϵ'_{33}) mindestens des Kopf- oder des Fußteils als inaktive Bereiche (B,C) geringer ist als die Dielektrizitätskonstante (ϵ_{33}) des aktiven Bereichs (A).

2) Piezoaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die inaktiven (B,C) Bereiche und der aktive Bereich (A) aus einer gleichen keramischen Grundsubstanz her-

gestellt sind, wobei in den inaktiven Bereichen (B,C) zusätzliche Dotierstoffe derart eingefügt sind, dass sich eine minimale Dielektrizitätskonstante (ϵ'_{33}) ergibt.

3) Piezoaktor nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Grundsubstanz Bleizirkonattitanat (PZT) und der Dotierstoff Silber ist.

4) Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Schichtdicken (d_B, d_C) der inaktiven Bereichen (B,C) gleich sind.

5) Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

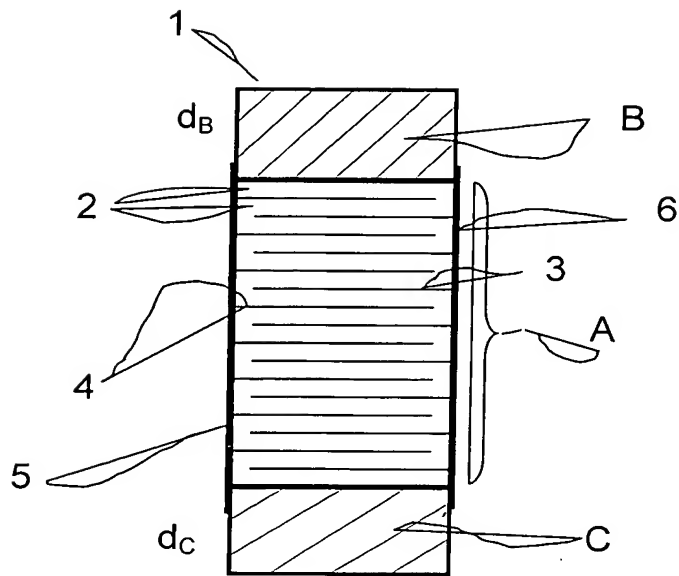
- die inaktiven Bereiche (B,C) aus einer elektrisch gepolten Keramik mit einem derart angelegten elektrischen Feld gebildet sind, dass sich eine minimale Dielektrizitätskonstante (ϵ'_{33}) ergibt.

Zusammenfassung

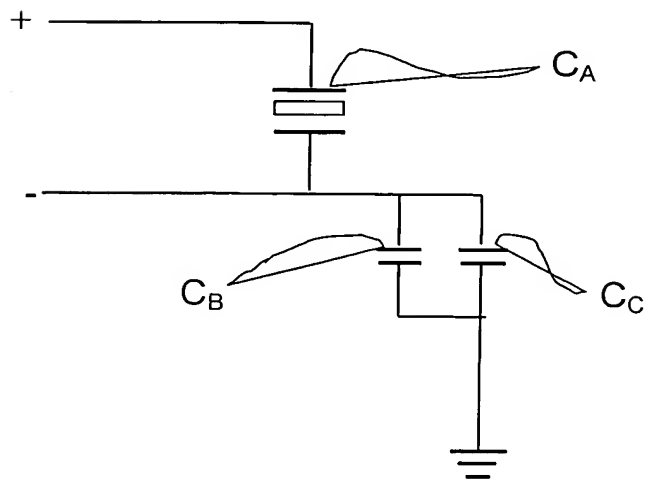
Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem der Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) versehen ist und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) über zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3,4) mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar ist. Es sind inaktive Bereiche (B,C) im Lagenaufbau des Piezoaktors (1) vorhanden, wobei mindestens der Kopf- oder der Fußteil als inaktive Bereiche (B,C) ohne Innenelektroden aus einem Material gebildet ist, dessen Dielektrizitätskonstante (ϵ'_{33}) geringer ist als die Dielektrizitätskonstante (ϵ_{33}) des aktiven Bereichs (A).

(Figur 1)

1/2

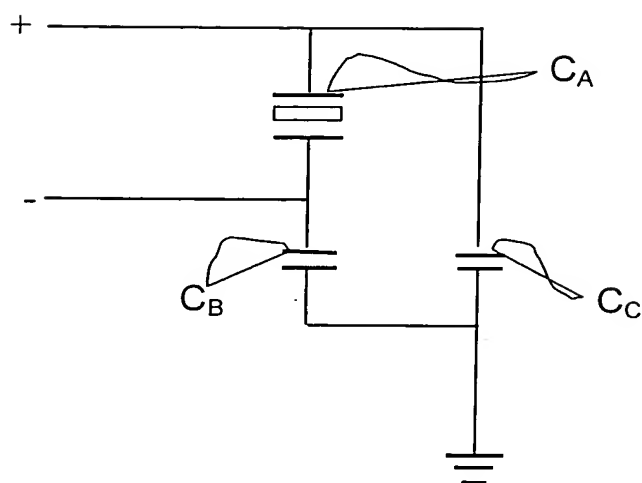


Figur 1

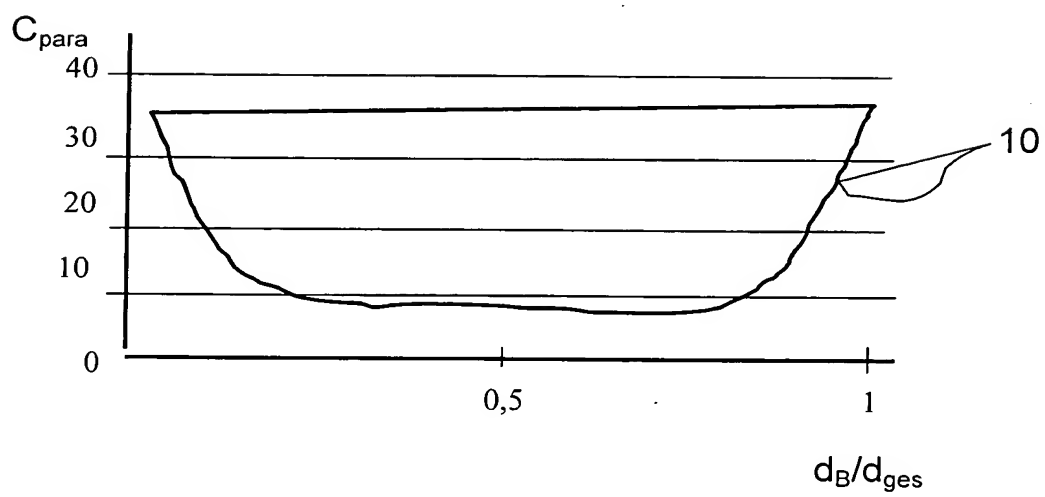


Figur 2

2/2



Figur 3



Figur 4